УДК 661.487.621.313

ПРЯМОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШНЕКА ДОЗАТОРА

Д.В. Робканов, Ю.Н. Дементьев, С.Н. Кладиев

Томский политехнический университет
E-mail: epatpu@mail2000.ru

Рассмотрен вариант применения асинхронного электропривода с прямым управлением моментом с помощью переключающей таблицы в многокомпонентной системе дозирования. Приведены функциональная схема асинхронного электропривода, реализующая управление моментом, зависимости векторов напряжения и потока от положения ключей инвертора, векторные диаграммы, поясняющие влияние векторов напряжения на поток и момент асинхронного двигателя.

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция перехода от нерегулируемого асинхронного электропривода к частотно-регулируемому электроприводу, состоящему из самого простого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователя частоты [1–5]. Данный электропривод является одной из наиболее перспективных и динамично развивающихся систем, обладает высокой надежностью, хорошими массогабаритными, стоимостными и регулировочными показателями асинхронного двигателя и обеспечивает улучшение динамики работы электропривода, уменьшение износа механических звеньев, увеличение срока службы технологических установок и широкие возможности автоматизации технологического процесса на современном уровне.

Промышленный способ производства фтористого водорода основан на разложении фторида кальция серной кислотой (рис. 1).

Реакция разложения идет с поглощением тепла, поэтому технологический процесс ведется в обогреваемых вращающихся барабанных печах. В печь непрерывно подается плавиковый шпат и рабочая смесь кислот.

В системе автоматизированного дозирования компонентов на узле термического разложения главной задачей является поддержание заданного стехиометрического соотношения при смешивании плавикового шпата и рабочей смеси кислот в допуске.

Механическая часть системы дозирования твердого компонента – плавикового шпата состоит из шнека-дозатора с редуктором. Электропривод шнека дозатора состоит из асинхронного двигателя (АД) управляемого от преобразователя частоты (ПЧ). Шпат поступает в загрузочное окно шнека из расходного бункера, транспортируется вращающимся винтом шнека и высыпается через разгрузочное отверстие вниз, попадая в шнек-смеситель. Привод шнека дозатора имеет достаточно тяжелые условия работы за счет специфических характеристик шпата. Кроме того, увеличение нагрузки при нештатном течении технологического процесса может вызвать остановку шнека. Поэтому для нормального функционирования электропривода шнека необходимо регулировать момент и ток двигателя. Указанные требования обеспечиваются точным регулированием момента в электроприводе, построенном на основе преобразователя частоты и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Существуют несколько способов практической реализации метода прямого управления моментом в асинхронном электроприводе:

1. Управление с переключающей таблицей (ST – Switching Table).
2. Прямое собственное управление (DSC – Direct Self Control).
3. Управление с прямой векторной модуляцией (DVMC – Direct Vector Modulation Control).

В статье представлен один из новых современных методов прямого управления моментом в асинхронном электроприводе с помощью переключающей таблицы (ST-метод) [3, 5], главной особенностью которого является более простая система управления по сравнению с векторным управлением с ориентацией по полю [1, 4].

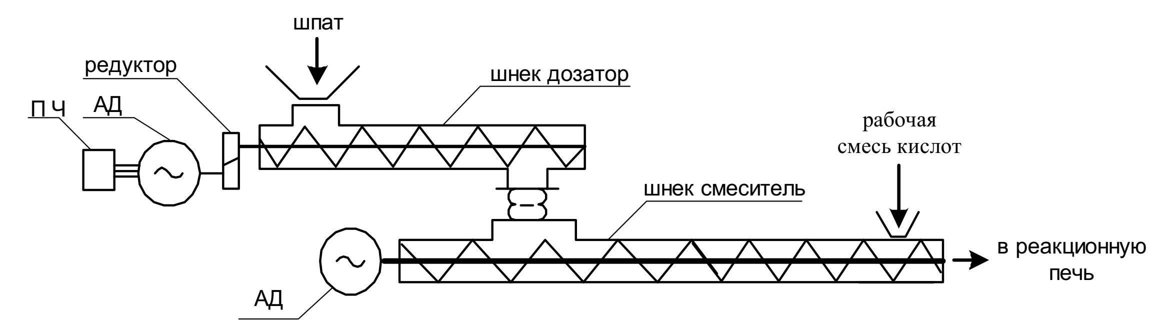


Рис. 1. *Многокомпонентная система дозирования*

На рис. 2 представлена обобщенная блок-схема асинхронного электропривода, реализующая управление моментом с использованием переключающей таблицы. В схеме управляющее устройство момента (УУМ) и управляющее устройство потока (УУП) гистерезисного типа.

В течение каждого цикла определяется вектор потока в соответствии с выражением:

$$\overline{\Psi}_1 = \int (\bar{u}_1 - \bar{i}_1 R_1) dt, \tag{1}$$

где $\bar{u}_1$, $\bar{i}_1$ – векторы соответственно напряжения и тока статора; R_1 – активное сопротивление статора.

Вектор напряжения $\bar{u}_1$ определяется на основе действительного (измеренного) напряжения звена постоянного напряжения преобразователя частоты и реального положения полностью управляемых ключей автономного инвертора напряжения.

Точность расчета вектора $\overline{\Psi}_1$ корректируется на основе измеренных значений токов статора в соответствии с выражением:

$$\overline{\Psi}_1 = L_1 \bar{i}_1 + L_m \bar{i}_2, \tag{2}$$

где $\bar{i}_1$, $\bar{i}_2$ – векторы токов соответственно статора и ротора; L_1 – индуктивность статора; L_m – индуктивность намагничивания.

Сигналы рассогласования по моменту и потоку, полученные с выхода сумматоров поступают на УУМ и УУП соответственно. Затем сигналы по потоку (v_ψ^*) и моменту (v_M^*), снятые с выходов УУМ и УУП, вместе со специальным сигналом (СИ), снятым с выхода вычислительного устройства (ВУ) о текущем угловом положении вектора потока, поступают в переключающую таблицу. Переключающая таблица состоит из оцифрованных сигналов рассогласования по потоку (1,0) и моменту (1,0,–1) и информации, в каком тридцатиградусном секторе системы координат, связанной со статором, находится вектор потока статора АД. С помощью переключающей таблицы выбирается оптимальный выходной вектор напряжения, который нужно подать на статорные обмотки АД, чтобы обеспечить необходимый момент при постоянном потоке асинхронного двигателя.

Выбор оптимального вектора напряжения производится из восьми возможных базовых векторов напряжения. Согласно структуре инвертора, приведенной на рис. 2, можно получить восемь базовых векторов напряжения, два из которых "нулевые" $\overline{U}[111]$ и $\overline{U}[000]$, а остальные шесть сдвинуты в пространстве на 60 эл. град. и расположены согласно рис. 3. Расположение векторов напряжения определяется трехфазной системой координат, где у каждого вектора имеется три координаты в соответствии с тремя фазами асинхронного двигателя. Например, вектор напряжения $\overline{U}[100]$ означает, что он расположен на действительной оси фазы "А" и совпадает с её положительным направлением (рис. 2). Имея восемь базовых векторов, можно воспроизвести любой требуемый вектор выходного напряжения путем переключения между двумя базовыми векторами текущего сектора и нулевыми векторами.

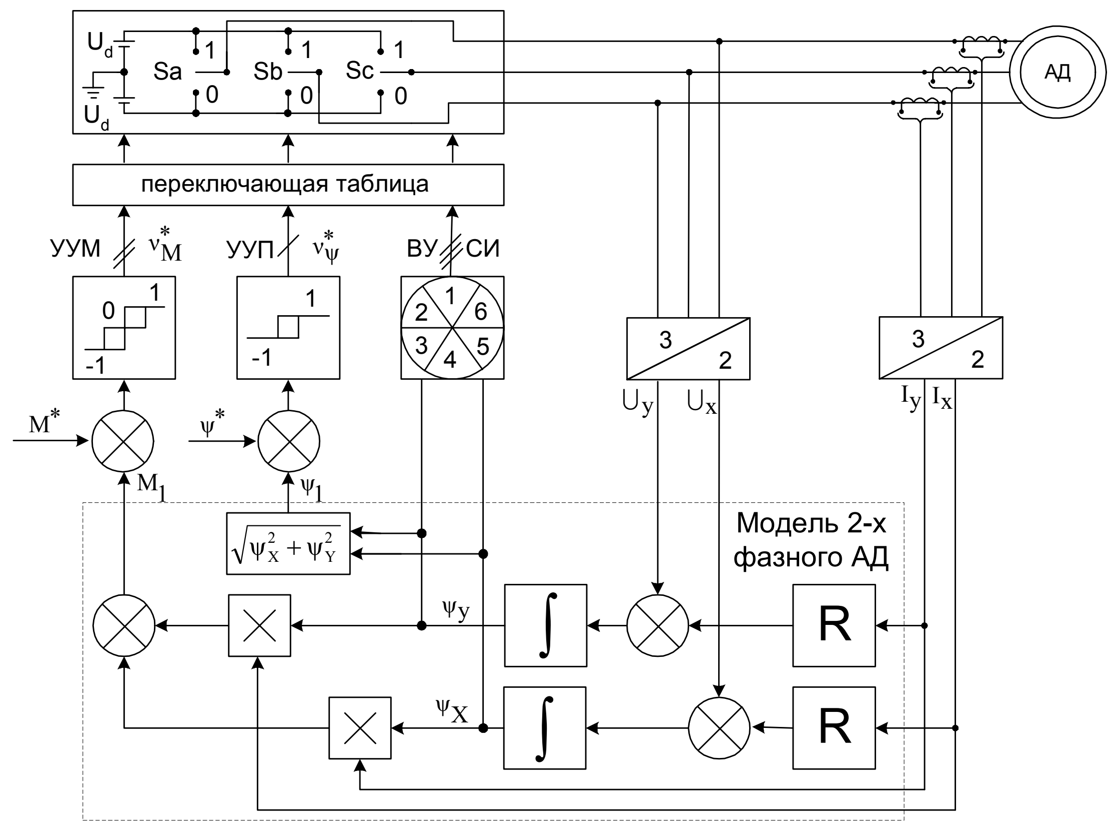


Рис. 2. *Блок-схема асинхронного электропривода*

Векторы напряжения зависят и от положения полностью управляемых ключей S_a, S_b, S_c инвертора. S_i=1(0) – соответствует подключению данной фазы двигателя к положительной (отрицательной) шине источника постоянного напряжения.

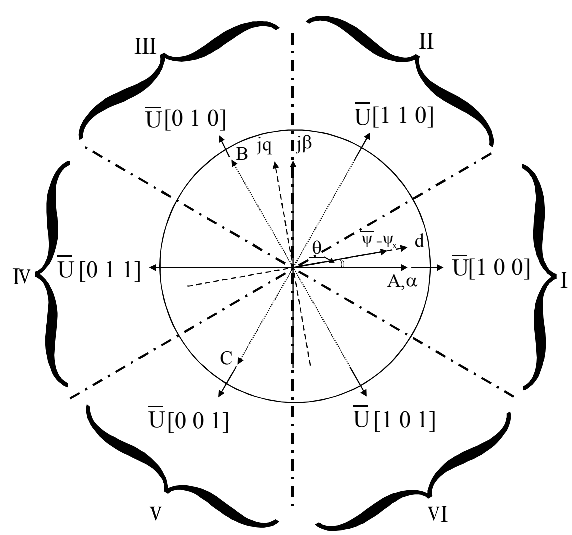


Рис. 3. *Ориентация векторов напряжения, используемых для построения переключающей таблицы*

Зависимость вектора напряжения статора от положения полностью управляемых ключей инвертора может быть определена по следующему выражению:

$$\overline{U}(S_a,S_b,S_c)=\frac{2}{3}U_d\left[S_a+S_b e^{j\frac{2\pi}{3}}+S_c e^{j\frac{4\pi}{3}}\right], \qquad (3)$$

где U_d – напряжение постоянного тока инвертора. Тогда вектор потока АД запишется в соответствии с выражением:

$$\overline{\Psi}_1=\frac{2}{3}U_d\left[S_a+S_b e^{j\frac{2\pi}{3}}+S_c e^{j\frac{4\pi}{3}}\right]t-R_1\int i_1 dt. \qquad (4)$$

Таким образом, управляя ключами инвертора с помощью переключающей таблицы, имеется возможность управлять как потоком, так и моментом АД. Для поддержания постоянства потока при управлении моментом АД выбор вектора напряжения необходимо осуществлять так, чтобы сигнал рассогласования между заданным и действительным значением потока находился в заданных пределах, а именно:

$$\left|\overline{\Psi}_1\right|^*-\Delta\left|\overline{\Psi}_1\right|/2\le\left|\overline{\Psi}_1\right|\le\left|\overline{\Psi}_1\right|^*+\Delta\left|\overline{\Psi}_1\right|/2. \qquad (5)$$

Для определения положения вектора потока координатная плоскость разбивается на шесть секторов (рис. 3). Угловое положение любого сектора определяется следующим выражением

$$(2N-3)\frac{\pi}{6}\le\Theta(N)\le(2N-1)\frac{\pi}{6}, \qquad (6)$$

где N=1,...,6.

Например, рассмотрим влияние вектора напряжения $\overline{U}$[110] на поток и момент, когда вектор потока находится в секторе I и вращается против часовой стрелки, как показано на рис. 4. Согласно векторной диаграмме, представленной на рис. 4, проекция U_ψ этого вектора на потокообразующую ось d положительна, поэтому выбранный вектор напряжения увеличивает величину потока. Проекция этого же вектора U_M на моментообразующую ось тоже положительна (рис. 3), поэтому данный вектор напряжения также увеличивает величину момента АД.

Согласно рис. 4 и принятому условию, что вектор потока находится в секторе I, вектор напряжения $\overline{U}$[001] уменьшает величину потока и момента АД, вектор $\overline{U}$[101] увеличивает величину потока и уменьшает величину момента, вектор $\overline{U}$[010] уменьшает величину потока и увеличивает величину момента.

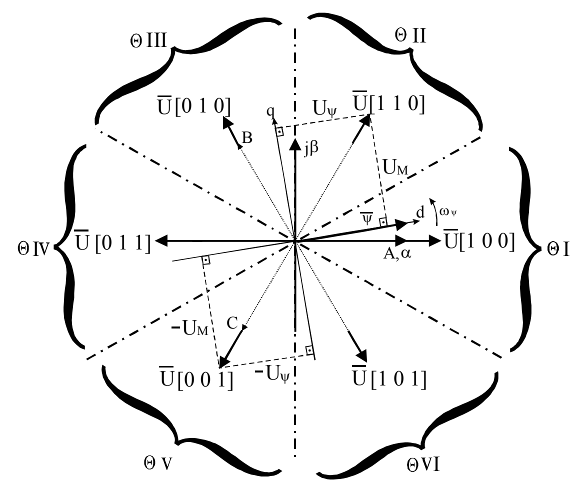


Рис. 4. *Векторная диаграмма напряжений инвертора и потока АД*

Для каждого сектора существует два вектора напряжения, которые меняют свои реакции и на поток и на момент при прохождении вектора потока через этот сектор, что влечет к неустойчивой работе, как АД, так и всей системы в целом. Поэтому такие вектора не применяются при формировании переключающей таблицы для данного сектора. Для первого сектора такими векторами являются вектора $\overline{U}$[100] и $\overline{U}$[011]. Выбор того или иного вектора напряжения зависит от направления вращения вектора потока. Например, подключение вектора напряжения $\overline{U}$[110] к статору АД, при вращении потока, расположенного в первом секторе, по часовой стрелке, уменьшает величину потока и момента. Таким образом, поддерживая амплитудное значение вектора потока на постоянном уровне и управляя скоростью его вращения изменением числа подключений "ненулевых и нулевых" векторов напряжения инвертора, возможно, осуществлять прямое управление моментом.

Применение асинхронного частотно-управляемого электропривода с прямым управлением моментом в производстве безводного фтористого водорода позволяет улучшить качественные характеристики технологического процесса и выпускаемой продукции, а также повысить надежность работы исполнительных механизмов технологического производства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудаков В.В. и др. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
2. Козаченко В.Ф. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам // CHIPNEWS. – 1999. – № 1. – С. 2–9.
3. Buja G. A new strategy of induction motor drivers: the direct flux and torque control // IEEE Industrial Electronics Society. Newsletter. – 1998. – Dec. – P. 14–16.
4. Blaske F. Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschinen // Siemens-Z. – 1971. – Bd. 45. – № 10. – S. 756–760.
5. Juhasz Gy., Halasz S., Veszpremi K. Simulation and Measurement of Direct Torque Controlled IM Drive: Proc. Conf. on Power Electronics and Motion Control, PEMC. – Košice, 2000. – V. 7. – P. 124–129.

УДК 519.251.9